

Etude de la transformation du charbon de terre de la Sakoa en combustible domestique

Jean de Dieu Ramaroson (1), Jaconnet Oliva Andrianaivoravelona (2), Rijalalaina Rakotosaona (2), Jean Luc Rasoanaivo (3), Phillipe Andrianary (2), Lala Andrianaivo (2), Hery Mikaela Ratsimbazafy (1),

(1) Centre National de Recherches Industrielle et Technologique, Département Matériaux et Génie Civil, BP 6294
Fiadanana/Tsimbazaza Antananarivo ; E-mail : ddramaro@yahoo.fr

(2) École Supérieure Polytechnique d'Antananarivo, BP 1500 Antananarivo 101

(3) Centre National de Recherches Industrielle et Technologique, Département Energétique, BP 6294 Fiadanana/Tsimbazaza
Antananarivo

Résumé

La présente recherche propose du combustible domestique qui pourrait substituer le charbon de bois et le bois de chauffe. Les matières premières utilisées sont le charbon de terre, la fine de charbon de bois et la fécule de manioc. Le procédé de transformation consiste à la cokéfaction de la houille à 900 °C, pendant 12 heures. Le coke ou semi-coke ainsi obtenu est mélangé avec des fines de charbon de bois et de féculés de manioc. Le mélange est, ensuite, pressé avec une force de 8.000 kgf pour obtenir la brique de charbon de terre.

Des enquêtes et essais de cuisson ont été menés auprès des utilisateurs pour déterminer leur degré de satisfaction vis-à-vis du nouveau produit. Enfin, l'analyse environnementale a été réalisée pour cerner les enjeux environnementaux du projet.

Mots clés: Charbon de terre, combustible domestique, cokéfaction, brique de charbon, gaz à effet de serre

Madagascar rencontre aujourd'hui des difficultés face à la crise énergétique, que ce soit au niveau de l'électricité, au niveau du prix du carburant ou au niveau des combustibles domestiques.

La hausse de prix du pétrole, y compris le gaz naturel, est la principale cause de l'inflation et de l'insuffisance de l'offre d'énergie par rapport à la demande. Ce sont des blocages pour le démarrage et le développement de notre économie.

La situation économique actuelle de Madagascar la situe parmi les pays les plus pauvres de la planète. C'est pourquoi, le recours aux combustibles de substitution tels que le gaz, le pétrole lampant et l'électricité, n'est pas envisageable pour la majorité des ménages.

Les effets néfastes de ces crises se font sentir sur l'environnement. En effet, face à une ressource énergétique trop chère, les consommateurs n'ont de recours que l'utilisation des ressources naturelles telles que le charbon de bois ou le bois de chauffe.

Ainsi, les pressions sur nos ressources forestières sont de plus en plus fortes pour satisfaire les besoins de chaque ménage en énergie.

Le constat de la situation nous a donné l'idée de la valorisation du charbon de terre de la Sakoa à des fins domestiques. En effet, Madagascar dispose d'énormes ressources naturelles minérales. Le gisement de charbon de terre de la Sakoa en fait partie. Il se trouve dans l'ancienne province de Toliara, région de l'Atsimo-Andrefana, district de Betioky-Atsimo, commune rurale de Soamanonga.

Aussi, nous avons étudié dans le cadre de ce travail, la possibilité de la transformation du charbon de terre de la Sakoa en combustible domestique.

Objectif

Le but de cette étude est la maîtrise technologique de la transformation du charbon de terre de la Sakoa en combustible domestique et son utilisation par les ménages. Par conséquent, il serait utile de faire des analyses socio-économiques et environnementales du projet, afin de démontrer les avantages de la technologie sur ces deux plans.

2. MATÉRIELS ET MÉTHODES

Démarche adoptée pour l'étude de la transformation du charbon en combustible domestique

Pour atteindre notre objectif, nous avons effectué l'étude de la transformation du charbon de terre en combustible en deux étapes :

Première étape : Étude de la transformation du charbon de terre en combustible domestique. Elle comporte les travaux suivants :

- l'étude du processus de transformation du charbon de terre en combustible domestique ;
- l'étude, la conception et la réalisation des équipements de laboratoire pour la distillation du charbon de terre ;
- les essais de distillation ;
- le test sur le liant et les amorces ;
- les essais de compactage ;
- les essais de séchage

Deuxième étape: Test des produits obtenus. Elle comporte les travaux suivants :

- le *Drop Test* ;
- le test de la résistance à la compression ;

2.2. Matériels

Compte tenu du caractère pluridisciplinaire de l'étude, la méthode a été celle de la compilation de différents documents, ainsi que les travaux de recherche sur terrain et aux laboratoires pour la maîtrise du procédé de fabrication des combustibles.

Aussi, divers matériels et équipement ont été conçus et réalisés pour la réalisation des essais de fabrication des combustibles. Il s'agit de :

- distillateur artisanal dont les caractéristiques techniques sont données dans le tableau 1 suivant

Tableau 1 : Caractéristiques techniques du distillateur artisanal

Désignation	Module
Capacité	30 litres
Source d'énergie	Charbon de bois
Echangeur de chaleur	Plaque tubulaire
Réacteur	<ul style="list-style-type: none"> - Parois en TPN 50/10 - Forme cylindrique - poids : 32 kg - diamètre : 300 mm - hauteur : 400 mm
Four	<ul style="list-style-type: none"> - Tirage inversé - Garniture en brique réfractaire - diamètre : 800 mm - hauteur : 750 mm



Figure 1 : Distillateur artisanal

- matériel de compactage dont les caractéristiques techniques sont données dans le tableau 2 suivant

Tableau 2 : Caractéristiques techniques de la presse de compactage

Désignation	Module
Construction :	Mécano-soudé en tôle de forte épaisseur de 10 et 15 mm
Poids de l'ensemble:	48 kg
Système de rappel :	double ressort de traction à 8 spires de 5 mm de diamètre chacune
Plateau guide	en translation verticale de 200 mm x 350 mm x 12 mm
Source de pression	cric bouteille de 10 tonnes
Course maximum	120 mm
Dimension	Longueur : 450 mm
	Largeur : 210 mm
	Hauteur : 750 mm
Capacité :	3 kg/jour



Figure 2 : Presse de compactage

Les essais de résistance à la compression (tableau 2) des briquettes de charbon de terre ont été réalisés avec la presse hydraulique (figure 3) du bloc technique de l'ESPA à Ambohitsaina.



Figure 3 : La presse utilisée pour la mesure de la résistance à la compression

2.3. Méthodologie de l'étude de l'utilisation des briquettes de charbon de terre

Une étude de l'utilisation des briquettes de charbon ainsi fabriquées a été réalisée auprès de certains ménages.

Le but de cette étude est de :

- recueillir les appréciations des utilisateurs sur la qualité des produits mis au point au cours des essais de fabrication ;
- déterminer le choix final du produit à développer sur le marché parmi les 3 produits mis au point.

Le test a été effectué dans la région Atsimo-Andrefana, plus précisément, dans le district de Toliara I, Toliara II et Betioky-Atsimo, donc en milieu urbain et rural.

La méthodologie adoptée consiste à :

- sélectionner les utilisateurs qui pourront effectuer les tests. Les critères de sélection sont :
 - o les habitudes de cuisson ;
 - o la classe socio-professionnelle des ménages ;
- distribuer 2 kg de produit et un questionnaire aux ménages ;
- donner aux établissements de restauration 3 kg de produit, plus un questionnaire ;
- donner des directives sur l'utilisation des briquettes :
 - o l'allumage (Figure 4) et l'entretien du feu ;
 - o le type et la quantité d'aliment à cuire ;
 - o les mesures à effectuer lors du test ;
- donner des directives sur le remplissage du questionnaire ;
- collecter les données recueillies par l'utilisateur sur l'utilisation des briquettes ;
- analyser les données recueillies.



Figure 4 : Essai de démarrage du feu avec les briquettes de charbon de terre

4. RESULTATS ET DISCUSSIONS

4.1. Etude de la transformation du charbon en combustible domestique [Ramahalitsirofo 2008]

4.1.1. Essais de cokéfaction [Hebden & Straud, 1981 Loison, 1986]

Nous avons effectué des essais afin de déterminer les paramètres de cokéfaction du charbon. Les essais sont, évidemment, menés avec le distillateur artisanal. Pour des raisons économiques et de sécurité, le combustible utilisé était le charbon de bois. La température de cokéfaction a été fixée à 900°C. Les paramètres ainsi déterminés sont :

- la granulométrie du charbon ;
- la durée de la cokéfaction ;
- la quantité de condensat obtenue ;
- le rendement de distillation.

a) Conduite des essais

L'évolution de la température en fonction de la durée de la cokéfaction est donnée par la figure 5 suivante :

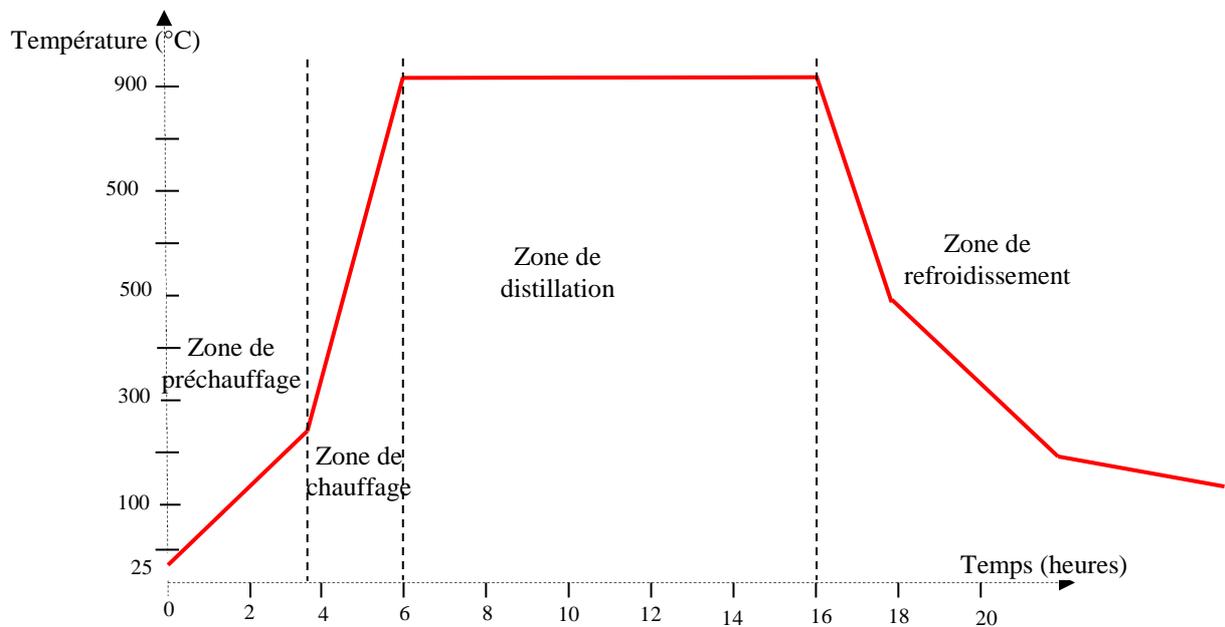


Figure 5 : Évolution de la température en fonction de la durée de cokéfaction

Le graphe ci-dessus montre l'évolution de la température s'effectue en quatre étapes : le préchauffage, le chauffage, la distillation et le refroidissement :

- Le préchauffage dure environ 3 heures 30 minutes. Il consiste à sécher et préchauffer le charbon jusqu'à une température de 250°C. L'élévation de la température s'effectue progressivement, dans cette zone.
- Le chauffage dure environ 2 heures 30 minutes. Il consiste à élever la température de 250 à 900°C. La pente de la droite est très importante, ce qui traduit ici une élévation plus rapide de la température que dans la zone de préchauffage.
- La distillation dure 8 à 15 heures. La température est maintenue à 900°C, pendant la durée de la distillation.
- Le refroidissement est tout de suite effectué une fois le temps de la distillation écoulé, c'est-à-dire qu'on stoppe séance tenante le chauffage du distillateur.

b) Résultats et discussions

❖ *Granulométrie du charbon*

Afin de déterminer l'effet de la granulométrie du charbon de terre sur la qualité du semi-coke, donc des briquettes de charbon, nous avons effectué 18 essais de cokéfaction. La durée de chaque essai a été fixée à 12 heures pour une température de cokéfaction de 900°C. La figure 6 suivante montre la teneur en matières volatiles du semi-coke obtenu en fonction de la granulométrie du charbon :

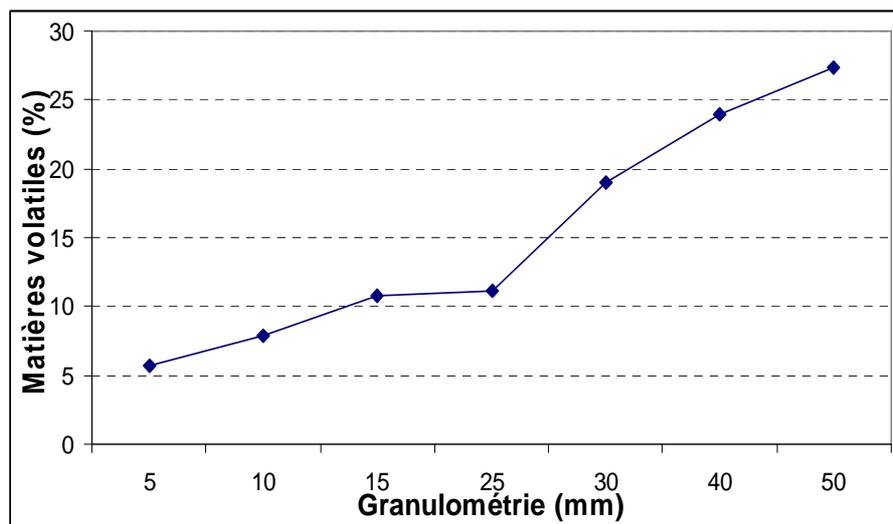


Figure 6 : Évolution de la teneur en matières volatiles du semi-coke en fonction de la granulométrie du charbon

Le graphique montre que, plus la granulométrie est petite, plus la teneur en matières volatiles du semi-coke obtenu est faible. Donc, la qualité du semi-coke est meilleure, c'est-à-dire que son pouvoir calorifique inférieur est élevé. Ce que montre le graphique (figure 7) suivant :

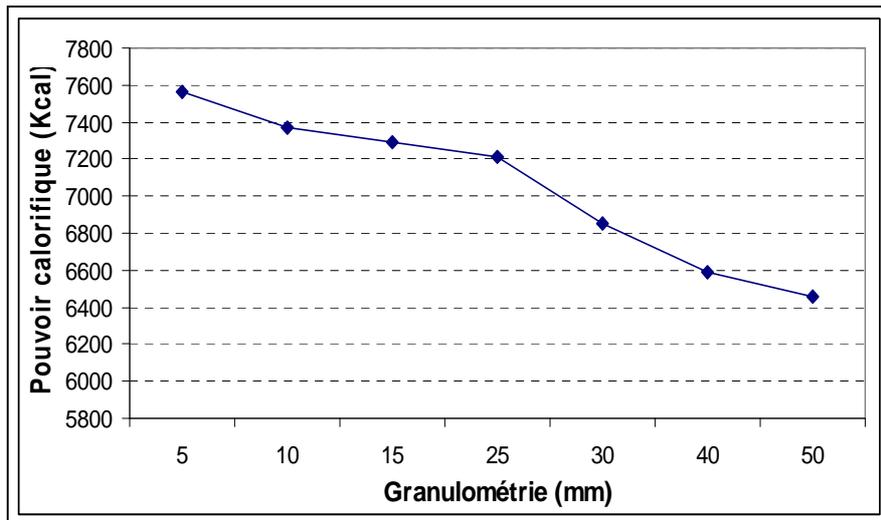


Figure 7 : Évolution du pouvoir calorifique du semi-coke en fonction de la granulométrie du charbon

L'allure de la courbe est peu accentuée pour la granulométrie comprise entre 10 et 25mm. Puis, elle devient plus importante lorsque la granulométrie du charbon augmente, c'est-à-dire que le pouvoir calorifique du semi-coke diminue rapidement quand la granulométrie du charbon augmente.

❖ *La durée de la cokéfaction*

La durée de la distillation a été réglée entre 8 et 15 heures. Nous avons effectué 10 essais de cokéfaction. Nous avons calculé le rendement en semi-coke en fonction de la durée des essais.

Le résultat obtenu est montré par les graphiques (figures 8 et 9) suivants :

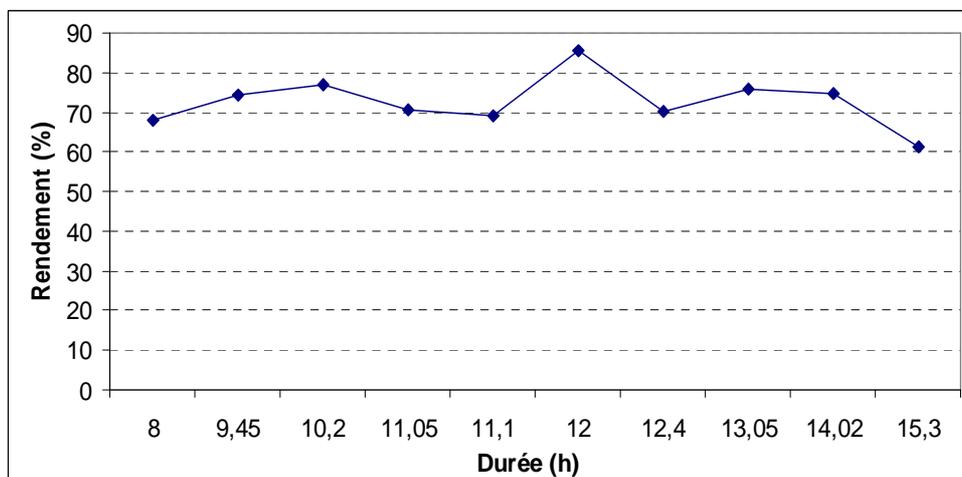


Figure 8 : Évolution du rendement de la cokéfaction en fonction de sa durée

Le graphique ci-dessus montre que le rendement optimal en semi-coke est obtenu après 12 heures de cokéfaction. Le rendement maximal ainsi obtenu est de 80%. Si on augmente encore la durée de la cokéfaction, le rendement diminue. Il descend jusqu'à 60% après 15 heures de distillation.

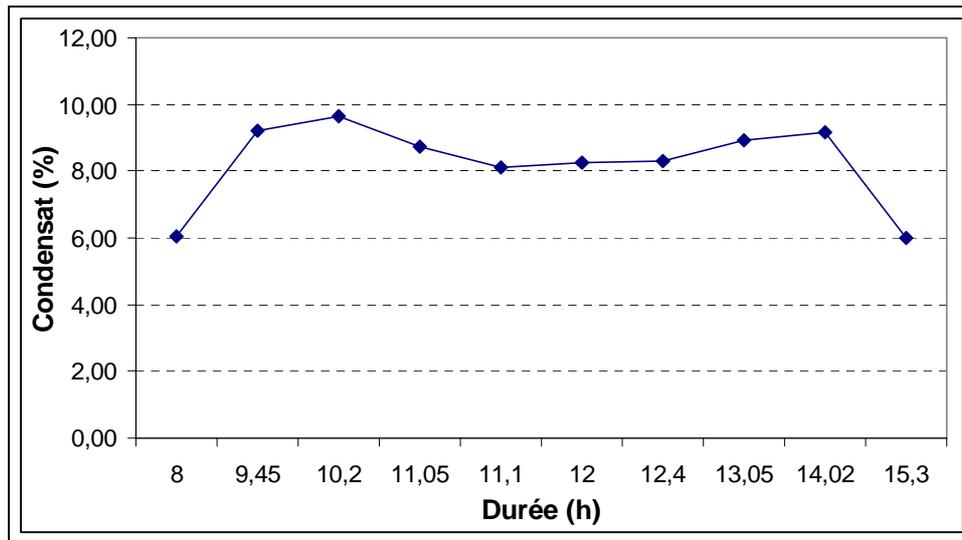


Figure 9 : Évolution de la quantité de condensat obtenue en fonction de la durée de cokéfaction

La figure 9 montre que le rendement en condensat est optimal après 10 heures de cokéfaction. Le rendement ainsi obtenu est de 9,67%. Si on continue, encore, d'augmenter la durée de la distillation, le rendement diminue. Il atteint 6% après 15 heures de distillation.

❖ Caractéristiques du semi-coke obtenu

Le tableau 3 suivant montre les caractéristiques du semi-coke obtenu par la cokéfaction du charbon de terre de la Sakoa.

Tableau 3 : Caractéristiques du semi-coke

Échantillon	Densité	Humidité (%)	Matières volatiles (%)	Cendres (%)	Carbone fixe (%)	PCI (Kcal/kg)
N°1	1,15	0,77	12,06	19,11	68,06	7 062
N°2	1,04	0,70	10,02	18,95	70,22	7 286

Source : Laboratoire OMNIS

❖ Conclusion

Afin d'obtenir un rendement de distillation optimal en coke, les paramètres de cokéfaction à adopter sont :

- température : 900°C
- granulométrie : 10 à 25mm
- durée : 12 heures

Le rendement ainsi obtenu est de l'ordre de 80% de semi-coke.

4.1.2. Adjuvants [Prudhon, 1986]

a) Liant

Le semi-coke, à la sortie du distillateur, se trouve sous forme pulvérulente. Pour les mettre sous forme d'aggloméré solide, on doit utiliser un liant pour assurer la cohésion des éléments de l'aggloméré entre eux.

Afin de déterminer le type de liants adapté au produit et à son utilisation, on a effectué plusieurs tests et analyses avec divers types de liant, tels que la farine de manioc, la fécule de manioc, l'argile. Les résultats de l'étude sont donnés dans le tableau 4 suivant :

Tableau 4 : Tableau Comparatif des liants

Paramètres	Farine de manioc	Fécule de manioc	Argile
Mode d'obtention	Moyen	Moyen	Facile
Disponibilité	National	Régional	National
Facilité d'utilisation à chaud et à froid	Moyenne	Facile	Moyenne
Coût du produit fini (Ar/kg)	60	258	40
Concurrence alimentaire	Oui	Oui	Non
Echelle d'efficience	80	100	70
Point fort	Prix relativement abordable	Pouvoir adhésif élevé	Largement disponible
Faiblesse	Pouvoir adhésif médiocre	Coût élevé	Résistance à la compression faible
Résistance aux sollicitations (MPa)	3,8	6,0	2,9

Source : Essai au labo du CNRIT, Avril 2007

Les résultats des essais montrent que la fécule présente le moins de difficultés à l'usage tant à chaud qu'à froid. Son efficience, c'est-à-dire son rapport cohésion/prix, est la plus avantageuse. Elle offre le plus de résistance aux différentes sollicitations. La briquette contenant la fécule est la plus robuste. C'est pour ces raisons que la fécule de manioc a été choisie comme l'un des liants de la briquette à utiliser pour le test d'acceptabilité du produit fini.

b) Amorce

La mise en forme du semi-coke en briquette nécessite un liant approprié. En plus, il faut lui conférer un temps d'inflammabilité avoisinant celui du charbon de bois. Car la briquette de charbon de terre, constituée essentiellement par le semi-coke, est un produit difficilement inflammable. Cela est dû au processus de cokéfaction, responsable du départ des matières volatiles qui entretiennent la chaleur. D'où la nécessité d'un élément que nous appelons « amorce » qui améliorera l'inflammabilité des briquettes.

Pour atteindre cet objectif, nous avons effectué des essais sur onze (11) types d'amorce tels que le tourteau de jatropha, la cire, le goudron, les fines de charbon de bois, la résine de pin, le pétrole, le kérosène, le papier, les copeaux de bois, la paraffine, la fine de charbon de bois.

Les tests (tableau 5) ont été effectués en fonction de trois critères, à savoir :

- L'inflammabilité ;
- La commodité d'usage ;
- L'aptitude à résister aux sollicitations pendant le transport et la manutention.

Tableau 5 : Résultats du test sur les amorces

Amorce	Temps d'inflammabilité (mn)	Emanation		Résistance à la cassure
		Odeur	Fumée	
Cire	6	Légère	Beaucoup	Très bonne
Pétrole	7	Hydrocarbure	Au début	Mauvaise
Goudron	8	Écœurante	Beaucoup	Bonne
Tourteaux de jatropha	32	Légère	Moyenne	Bonne
Paraffine	6	Légère	Légère	Bonne
Kérosène	9	Hydrocarbure	Au début	mauvaise
Papier	28	Inodore	Faible	Bonne
Résine de pin	44	Légère	Au début	Mauvaise
Fine de charbon	6	Légère	Au début	Très bonne
Morceaux de charbon de bois	8	Inodore	Néant	Très bonne
Copeaux de bois	9	Inodore	Au début	Mauvaise

Source : Essai au laboratoire du CNRIT, Avril 2007

Parmi les onze (11) types d'amorce testés, cinq (5) ont été retenus, à cause de la rapidité du démarrage du feu (temps d'inflammabilité inférieur ou égal à 8 minutes). Ce sont la cire, le pétrole, le goudron, la paraffine et la fine de charbon de bois.

Cependant, le pétrole est éliminé à cause de l'odeur d'hydrocarbure durant la combustion et la difficulté de séchage du produit obtenu. En outre, nous avons arrêté les essais sur la paraffine étant donné qu'elle est chère et importée.

Ainsi, pour la suite de notre étude, nous avons retenu les trois amorces suivantes :

- le goudron ;
- la cire ;
- la fine de charbon de bois.

4.1.3. Optimisation de la teneur en liant

Afin de déterminer la teneur optimale en liant pour les briquettes, nous avons effectué deux tests tels que le *drop-test* et la résistance à la compression.

a) Drop test

Ce test constitue un moyen de déterminer l'aptitude d'un combustible à résister aux sollicitations provoquant sa fragmentation en menus morceaux. Il consiste à laisser tomber une masse quelconque de combustible, plusieurs fois sur plusieurs facettes, à partir d'une certaine hauteur. On mesure ensuite le nombre des combustibles qui se sont cassés après les chutes.

Les conditions d'expérimentation sont les suivantes :

- Hauteur : 1 m ;
- Fréquence : journalière ;
- Stockage du combustible : dans une armoire métallique fermée.

Les résultats du test sont les suivants :

- les briquettes ayant une teneur en liant inférieur à 3% accusent un coefficient de friabilité élevé : indice 11 ; 89% des briquettes ont été endommagées (16 briquettes sur 18 sont cassées) ;
- les briquettes ayant une teneur en liant de 6% montrent plus de résistance : indice 79 ; 21% des briquettes sont cassées (4 briquettes sur 19 ont été endommagées),
- les briquettes ne s'effritent pratiquement plus avec une teneur en liant de 10% : indice 97 ; 3% des briquettes ont cassées (seule 1 briquette sur 30, a été endommagée).

L'étude a mis en relief une nette corrélation entre la teneur en liant et l'aptitude du produit à résister à l'effritement. Une teneur en liant de 10% donne aux briquettes une propriété apte à résister aux sollicitations diverses au cours de son transport et sa manipulation.

À titre indicatif, le charbon de bois a un indice de *drop-test* de 80 à 90, suivant l'âge et la nature du bois utilisé pour sa fabrication. Cette constatation a été faite d'après les essais effectués au laboratoire du CNRIT.

b) Résistance à la compression

La résistance à la compression reflète l'aptitude d'un produit à s'opposer aux sollicitations qui lui sont appliquées lors de son transport et sa manutention. C'est en quelque sorte un test d'efficience de plusieurs critères dont :

- la bonne conduite du séchage ;
- le choix adéquat du liant et sa teneur optimale ;
- la force de compactage optimale.

Toutes ces considérations peuvent être vérifiées à l'aide du test destructif ou test de résistance à la compression. La résistance à la compression donne aussi, une idée de base sur l'aptitude des produits à résister aux différentes sollicitations qu'ils peuvent subir durant leur utilisation. Elle constitue également une référence en matière d'efficacité du compactage.

Pour une pression de compactage de 39,8 MPa, soit une force de compactage de 5 000 kgf, les valeurs obtenues lors des mesures sont les suivantes (Figure 10):

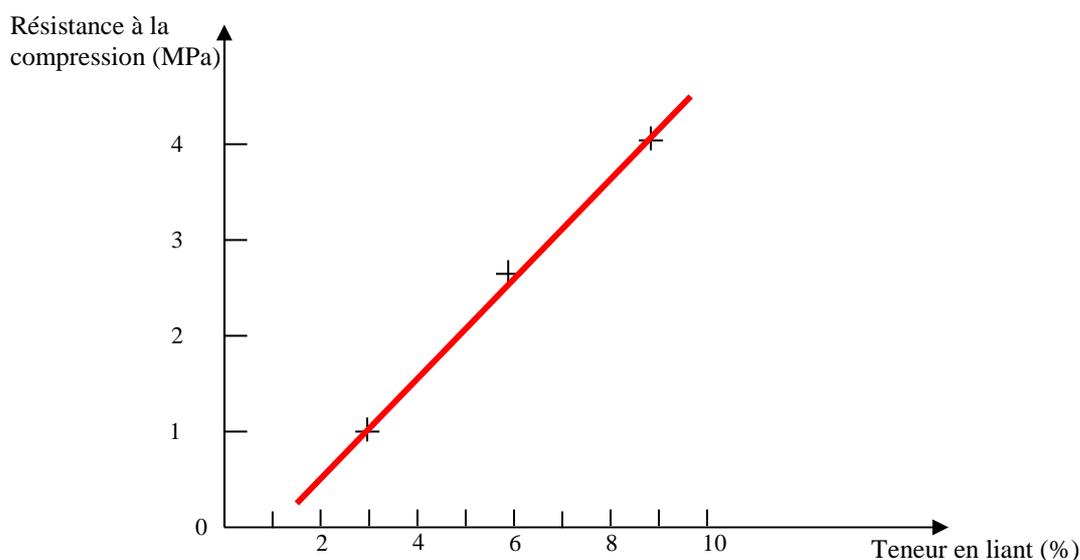


Figure 10 : Résistance à la compression des briquettes en fonction de la teneur en liant

- 0,5 MPa pour une briquette liée à 3 % de féculé de manioc comme liant ;
- 1,25 MPa pour une briquette à 6 % de féculé de manioc ;
- 2,0 MPa pour une briquette à 9 % de féculé de manioc.

La résistance à la compression des briquettes est proportionnelle à la teneur en liant. Au cours de l'essai, la teneur en féculé de manioc de 9% a donné le meilleur résultat. Toutefois, le coût de production d'un tel charbon s'avérera très élevé, à cause du prix de la féculé de manioc. C'est pourquoi, nous avons fixé la teneur en liant des biquettes à 6% de féculé de manioc.